

竹中技術研究所 正員 ○ 米 澤 敏 男
 “ “ 吉 岡 保 彦
 (株) 竹 中 土 木 清 水 洋 一

1. まえがき

マスコンクリートのひび割れを制御するためには、①温度履歴を予測する事、②ヤング係数の変化、クリープ、打ち継ぎ面でのすべり等を考慮して熱応力を算定し、ひび割れ発生の可能性を予測する事、③平均ひび割れ中、最大ひび割れ中、平均ひび割れ肉隔といったひび割れの特性を予測する事、④ひび割れ防止、ないしはひび割れ中を有害でない程度に抑制する手法を明らかにする事、等が必要とされる。①については断熱温度上昇の推定精度について多少の問題はあるが解析手法としては、FEMないしは差分法で十分対応できる。②③についてはかなりの検討がなされているが精度のいい予測はなかなか難しい。④についてはいくつかの方法が提案され実施されているが、まだ多くの検討を要する。ここでは比較的マシ^{12,21}な実構造物について、いくつかの測定を行い、筆者らの提案している熱応力の算定法の適用性を調べるとともに、ひび割れ防止の一手法としてのパイプクーリングの効果を調べた。またひび割れによって解放される歪について検討するとともに、壁体状のマスコンクリートのひび割れの特性について、2, 3, の考察を行った。

2. 実験の概要

実験は図-1のようなハンチ状の壁体3か所で行った。こねらを各々、“ハンチA”、“ハンチB”、“ハンチC”と呼ぶ。ハンチA, Bは図-1に示した寸法であり、ハンチCは、ベース厚1.0m、ハンチ中2.2m、高さ1.5mである。ハンチBでは、図-1に丸印で示した位置に三本のーインチコンジットパイプを配置し、18℃の水を20~60 L/minで通水しパイプクーリングを行った。使用したコンクリートの配合を表-1に示す。標準養生供試体の4週強度は、310 kg/cm²であった。温度は、C-C熱電対で、ひび割れ中は、1/100 mm マイクロスコープで測定した。

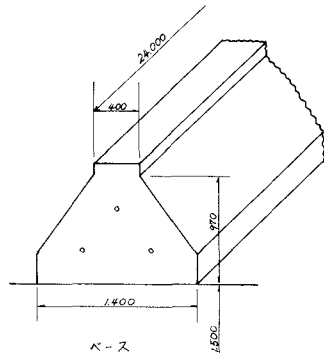


図-1 実験を行った構造物の見取図

Slump (cm)	Max. Age (day)	Air 100g	C	W	S	G	W/C (%)	A/A (%)
12~25	25	4+1	281	146	814	1124	52	42.4

表-1 コンクリートの配合

3. 実験結果 温度測定結果を図-2, 3に示す。打ち込み温度からの昇温は、ハンチ中心で、ハンチA, 22℃、ハンチB, 17℃、ハンチC, 31℃であった。ハンチAとBを比べると、パイプクーリングによって最高温度を5℃低下できたことになる。またクーリングは、24時間で停止したが、この後の温度低下速度は、ハンチAよりもハンチBの方が小さい。熱応力による最初のひび割れは、ハンチAで材令4日、ハンチCでは材令5日で生じた。ハンチBではひび割れは発生せず、条件によってはセメント量の多い通常の構造物でもパイプクーリングが有効な事が確認された。ハンチA, Cのひび割れ分散状況およびハンチ高さ中央でのひび割れ中、変化の状況を図-4, 5に示す。

4. 考 察 筆者らの提案している方法で算定したハンチ底面の熱応力を図-6~8に示す。図中、弾性解とあるのはヤング係数の変化のみを考慮したもの、クリープ解とあるのは、ヤング係数の変化とクリープを考慮したものである。図中にはまた実測の引張強度をD.D.値を用いて補正したものを示した。算定された応力が引張強度を上回る材令でひび割れが生ずると考えられるが観察された

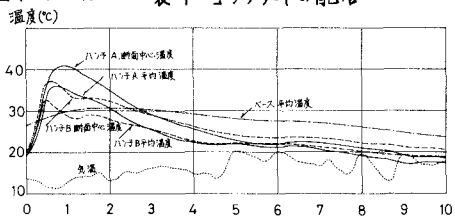


図-2 温度測定結果(ハンチA, ハンチB) 材令(日)

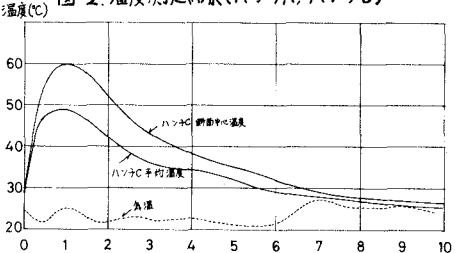


図-3 温度測定結果(ハンチC) 材令(日)

ひび割れの発生状況と比べると、算定値は引張応力を多少小さく評価する傾向にある。提案している方法は別に行ったモデル実験²⁾では測定値と比較的によく一致するが実構造物で上記の傾向を示すのは、モデルが一軸で端部を拘束しているのに対し、実構造物では打ち継ぎを介したせん断力で拘束するため初期の圧縮応力を過大に算定している可能性がある事や、必ずしも表面部で引張応力になるとは限らず、またオーダー的にもその水程大きくはないと考えられるがある程度の内部拘束応力が存在し、解析ではこの影響を無視している事等によるものと推定される。また引張強度や熱応力には確率的な性格があるため、推定した強度や応力について適当な巾を考えて、ひび割れ発生の可能性を評価することも必要だと思う。マスコンクリート壁体に生ずるひび割れ中を予測する事は現状では非常に難しいが基本的には、ひび割れによって壁のある高さで平均的に解放される歪 $\frac{\Sigma \epsilon_{wr}}{L}$ ($\Sigma \epsilon_{wr}$: 壁のある高さのひび割れ中の合計, L : 壁体長), 平均ひび割れ間隔 l , 最大ひび割れ中と平均ひび割れ中の比, 等が算定される必要がある。ここでは次のような考え方でハンチA, Cで測定されたひび割れによって解放される歪 $\frac{\Sigma \epsilon_{wr}}{L}$ を解析してみる。図4, 5に示したように、ひび割れは何段階かの状態を経て分散していくが、ひび割れの発生する瞬間には壁体底面の応力は、その材令での引張強度に等しいと考えられ、壁のある高さでの平均的応力は、全高に達するひび割れによって、拘束状態が変わる分だけ解放される。この解放される応力に対応する歪が、この時点の解放ひずみ $\frac{\Sigma \epsilon_{wr}}{L}$ となると考えられる。また、あるひび割れ状態から次のひび割れ状態に移る間は、その間の温度低下 ΔT_n によってひび割れ巾が拡大するがこれに相当する歪 $\Delta(\frac{\Sigma \epsilon_{wr}}{L})$ はこの間の平均ヤング率 $E_n(\mu)$, ΔT_n によって生ずる応力増分 $\Delta \sigma_n$ とから次式で算定されると考えられる。 $\Delta(\frac{\Sigma \epsilon_{wr}}{L}) = \alpha \cdot \Delta T_n = \frac{\Delta \sigma_n}{E_n(\mu)}$, このような考え方で図4, 5の過程を解析した。算定されたハンチ高さ中央での $\frac{\Sigma \epsilon_{wr}}{L}$ と測定値との関係は、図9のようになる。図9では、1/4歪の小さい所では、算定値と測定値とは比較的良好に対応するが、歪が大きくなると対応は悪い。打ち継ぎ面でのすべりの評価クリープによるひび割れ巾の拡大等、さらに検討を要するものとする。図10はハンチA, Cで測定された平均ひび割れ間隔とハンチ高さの比 l/h と、最高温度からの温度低下 ΔT にひび割れ発生時のハンチ底面の拘束度 R_b を乗じたもの $\Delta T \cdot R_b$ との関係を調べたものである。この関係は打ち継ぎ部の処理状況その他によって変わるものと考えられるが比較的小さな温度低下でひび割れが急激に分散し、その後徐々に分散して $l/h \approx 1$ に収束する状況がうかがえる。ハンチのある高さでの最大ひび割れ中と平均ひび割れ中の比は測定結果では1.5~2.5程度であった。ACI207委員会³⁾で用いているRC梁の曲げひび割れについてのHognestadの実験値1.5は、拘束力によるひび割れについては、やや小さめと思われた。

<参考文献> 1) 市岡他「マスコンクリートに生じる熱拘束ひずみについて」第32回年次講演会、2) 丹兼他「マッパなコンクリート新材に生ずるひび割れについて」第33回年次講演会発表資料、3) Reported by ACI Committee 207, "Effect of Restraint, Volume Changes and Reinforcement on Cracking of Massive Concrete" Journal of ACI July 1973

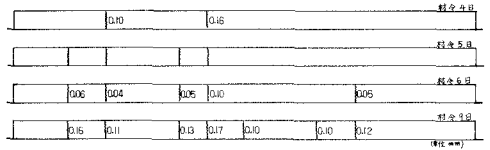


図-4. ひび割れ測定結果 (ハンチA)

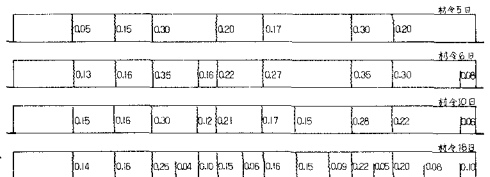


図-5. ひび割れ測定結果 (ハンチC)

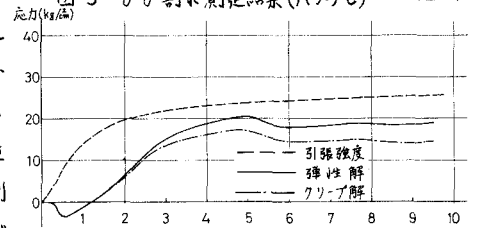


図-6. ハンチA底面の応力算定結果

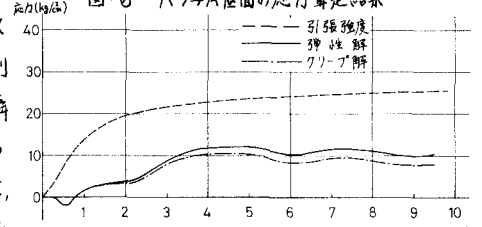


図-7. ハンチB底面の応力算定結果

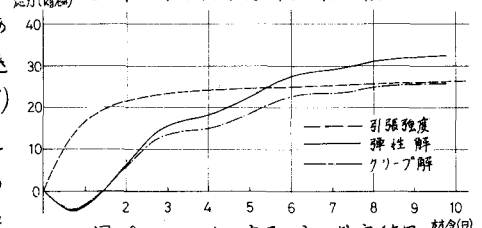


図-8. ハンチC底面の応力算定結果

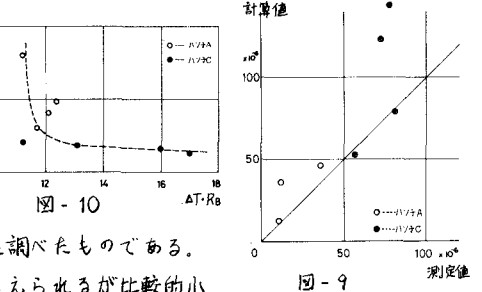


図-9

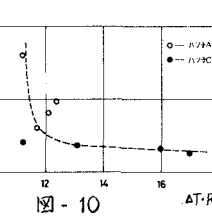


図-10